中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）34(3)：266～278（1985）

玉米臺農351號穗頂不充實原因之探討[1]

王強生　曹紹徵　劉大江[2]

摘要：玉米臺農 351號穗頂不充實之類型可分爲四種，即穗軸頂端萎縮、穎花未受精、子粒充實不良及混合型；本試驗於吐絲期進行降低族羣密度、套袋與人爲授粉等處理，探討花粉供應、供源能力、積儲容積與穗內子粒間競爭養份等因素對穗頂不充實問題的影響。試驗結果發現臺農351號玉米穗頂不充實長度爲3.39cm，占全穗長之20.1%，其中不稔部分即達2.51cm，唯子粒產量仍高達8.7t/ha；降低族羣密度二分之一（每公頃 29,400株）、套袋３～５日以延遲下位子粒發育與套袋６～10日以抑制部分下位子粒授粉充實，皆可顯著減輕穗頂不充實程度，增加充實穗長或上位子粒百粒重，但對一穗粒數與產量之提高則未具顯著效果。試驗結果顯示由於上、下位穎花與子粒在分化與發育方面的時序差異，使下位子粒具有較高的積儲強度（sink strength），對上位子粒之充實產生競爭與抑制作用。各處理植株營養器官乾物重在子粒充實期間持續上升，成熟時穗軸內非構造性碳水化合物濃度仍高，且自吐絲期開始降低族羣密度並不能有效提高產量，證明臺農 351號玉米之供源能力充足，積儲容積方爲產量限制因子，後者又與乾物質分配與轉流效率有關。本試驗未能證明人爲輔助授粉具有減輕穗頂不充實的效果，但鑑於穗頂不稔現象，抽穗與吐絲期之時間差距，以及較長的吐絲期間，仍不能否定花粉供應可能造成的影響。試驗結論認爲穗頂不充實現象爲多項因子共同作用的結果，且爲一品種特性，但與產量間的關係或對產量的影響並不明確，由於臺農351 號爲具有高產潛力的品種，在未育成穗頂完全充實的新品種以前，仍可由適當的栽培方法達到高產的目的。

臺農 351號爲臺灣省農業試驗所育成之單雜交玉米品種，植株强健，抗多種病害，對氮肥有極佳的反應，故產量高，平均每公頃在6t以上，爲目前稻田轉作計畫中所推薦的主要玉米品種。唯臺農351號品種果穗頂端之子粒可能有不充實現象，依據民國72年秋作全省玉米栽培試驗結果（未發表），不充實穗長介於1—4.6cm之間，占全穗長之６～28.8%，平均爲 16.1%；Wang *et al.*[23] 在不同氮肥施用量試驗中亦發現，臺農351號玉米穗頂不充實長度平均爲 2.2cm，占總穗長之14.4%，並估計如能克服此一缺點，產量有提高８～12%之可能。由此可知臺農 351號品種穗頂不充實現象普遍，有必要深入探究其原因，進而謀求改進之方。

玉米穗頂不充實問題並非罕見，依據 Daynard and Duncan[5]、Egharevba *et al.*[8] 及 Hanway[12] 等之報告計算，許多國外品種之不充實穗長占全穗長之2.4～17%，但平均僅爲６%左右，較臺農 351號爲低。許多原因皆可能導致玉米穗頂不充實，諸如遺傳（品種）特性[5,12]、穗內分化與發育之時序差異[3,16]、開花與吐絲時間差距過長[4,15]、穗內不同部位子粒間競爭養份[19,21,22]及光合成產物之供需平衡問題[15,17,25]等。本試驗針對上述可能原因，藉變更族羣密度、抑制下位子粒發

1.臺灣省農業試驗所　研究報告第1230）號。本試驗承行政院農業委員會補助部分經費，王碧玉與王祝仙小姐協助部分調查工作，謹致謝意。

2.分別爲本所農藝系助理研究員、助理與研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

育、延遲授粉及人爲輔助授粉等處理，探討影響臺農 351號玉米穗頂子粒發育不良的原因。

材料與方法

採用臺農351號（Tainung 351）玉米品種爲材料，於民國73年秋作在臺中縣霧峰鄉臺灣省農業試驗所農場進行試驗。73年9月15日播種，行株距爲 85×20cm，每穴2粒種子，出土後間拔爲1株，相當於每公頃栽植58,800株。小區面積爲 40m²，重複4次，採用完全逢機區集設計。肥料用量爲 $N : P_2O_5 : K_2O = 200 : 100 : 90$kg/ha，分別以硫酸銨、過磷酸鈣及氯化鉀之型態施用，方法已於前文[23]報告；又施用萌前殺草劑Primextra（Ciba-Geigy公司產品），用量爲3.5 l (a.i.)/ha，並適時防治病蟲害，植株抽穗前行中耕培土一次。

本項試驗於玉米吐絲期進行以下各項處理：

1. TMP：間拔行內植株至一半密度（每公頃29,400株），並輔以人爲授粉。
2. TNP：間拔玉米行內植株至一半密度。
3. CKMP：人爲輔助授粉。
4. CKNP：對照。
5. BMP：於玉米植株開始吐絲時套袋6～10日，並輔以人爲授粉。
6. BNP：於玉米植株開始吐絲時套袋6～10日。
7 DMP：於玉米植株開始吐絲時套袋3～5日，並輔以人爲授粉。
8. DNP：於玉米植株開始吐絲時套袋3～5日。

人爲授粉係於玉米雄穗開花後一週起爲之，每天自花粉供應區收集花粉進行人爲授粉，連續 9天。依據73年春作預備試驗結果，套袋5日以內不致影響花絲壽命，可收延遲授粉之效果，套袋6～10日則抑制部分中、下位穎花受精，可改變玉米果穗之積儲容積（sink capacity）。

植株生育期間調查雄穗抽出（tasseling）與開花（anthesis）期及雌穗吐絲（silking）期。除間拔（TMP與TNP）處理外，其餘處理均以單株爲單位記錄各生育期、套袋及授粉時間，以提高試驗之準確程度。

於吐絲及成熟期分別自每小區採取6～8株樣品，將植株區分爲葉片、莖稈（含葉鞘）、雄穗、苞葉、穗軸及種子等部位，測定其乾物重。成熟期另於每小區選取15穗，於 80°C 烘乾48小時後調查以下各性狀：不稔實長度（穗頂穎花未受精部分之長度）、不充實穗長（穗頂不稔實及子粒不充實部分之長度）及充實穗長（全穗長與不充實穗長之差）；又將全穗依穗長等分爲上、中、下三部位，分別測定各部位之穗周、軸周、粒數、粒重及計算百粒重。

所有樣品於秤量乾物重後均經Wiley mill以40目（mesh）篩磨粉，再於80°C烘乾24小時後分析全氮（N）與非構造性碳水化合物（total nonstructural carbohydrates，簡稱TNC）濃度，前者係依semi-micro Kjeldahl 法，後者係依Smith[20]法分析，每一樣品均分析2次。試驗結果均進行變方分析，且以鄧肯氏多變域分析（Duncan's New Multiple Range Test）測驗其顯著性，部分資料並以最小自乘法（L. S. D.）測定其差異顯著程度（資料未列出）及進行相關分析。

結　果

試驗於9月15日播種，9月20日出土，雄穗於出土後46日抽出，2日後開花（植株間差距爲0～5日），開花後4日吐絲（變域爲1～8日）。吐絲期植株各部位乾物重經變方分析結果，小區間之差異不顯著，顯示植株生長頗爲一致，各部位平均每株乾重爲葉片 27.87g、莖稈51.64g、雄穗5.81g、苞葉7.62g及穗軸2.22g，全株總重爲95.16g，各項結果與72年秋作試驗結果（未發表）相近。

臺農 351號玉米於吐絲期進行各項處理，成熟時植株各部位之乾物重列於表1。以對照(CKNP)而言，葉片乾重爲每株33.48g，莖稈爲 63.82g，亦即營養器官之乾物重較吐絲期增加17.79g；苞葉

乾重爲18.31g，穗軸爲28.18g，二者合計較吐絲期增加36.65g；雄穗乾重爲 4.29g，子粒爲147.79g；全株乾物重於吐絲後增加200.7g。子粒產量爲每公頃8.69t。

就各處理間之乾物重資料（表1）進行比較，間拔使族羣密度減半兩處理（TMP與TNP）植株各部位（葉片除外）乾重均有增加的趨勢，但僅自然授粉處理（TNP）區莖稈、苞葉及全株總乾物重之增加達顯著水準；於吐絲期降低族羣密度並無法使單株子粒產量顯著提高。套袋6～10日以抑制中、下位子粒發育兩處理（BMP 與 BNP）之全株總重與對照相同，但子粒產量顯著降低，BMP與BNP分別爲對照之84.7%與81.8%，其他各部位之乾重則多顯著增高，尤以莖稈與苞葉之增加最爲明顯。套袋3－5日以延遲授粉兩處理（DMP與DNP）未顯示處理效果，植株各部位之乾物重皆與對照相近。

Table 1. Dry weight (g/plant) and relative percentage to control (CKNP treatment) of plant components of Tainung 351 maize at maturity as affected by various treatments

Treatment[1]	Leaf	Stalk	Husk	Cob	Grain	Tassel	Total
TMP	31.50c[2] (94.1%)	69.84ab (109.4%)	21.78abc (119.0%)	32.63a (115.8%)	161.76a (109.5%)	4.50ab (104.9%)	322.02ab (108.8%)
TNP	32.88bc (98.2%)	77.86a (122.0%)	23.52ab (128.5%)	31.84ab (113.0%)	162.78a (110.1%)	4.52ab (105.4%)	333.39a (112.7%)
CKMP	34.23abc (102.2%)	69.26ab (108.5%)	18.90bc (103.2%)	28.35b (100.6%)	146.58b (99.2%)	4.95ab (115.4%)	302.14b (102.1%)
CKNP	33.48bc (100.0%)	63.82b (100.0%)	18.31c (100.0%)	28.18b (100.0%)	147.79a (100.0%)	4.29b (100.0%)	295.86b (100.0%)
BMP	36.09ab (107.8%)	76.45a (119.8%)	24.60a (134.4%)	30.67ab (108.8%)	125.13b (84.7%)	5.19a (120.9%)	298.12b (100.8%)
BNP	37.88a (113.1%)	75.18a (117.8%)	25.45a (139.0%)	33.66a (119.4%)	120.56b (81.8%)	4.50ab (104.9%)	297.22b (100.5%)
DMP	34.14abc (102.0%)	72.20ab (113.1%)	21.69abc (118.5%)	30.63ab (108.7%)	156.84a (106.1%)	4.23b (98.6%)	319.73ab (108.1%)
DNP	32.09bc (95.8%)	71.26ab (111.7%)	20.52abc (112.1%)	29.87ab (106.0%)	157.05a (106.3%)	4.79ab (111.7%)	315.57ab (106.7%)

[1] TMP : thinned to half density and supplemented with manual pollination. TNP : thinned to half density. CKMP : supplemented with manual pollination. CKNP : control. BMP : ears bagged for 6-10 days and followed by manual pollination. BNP : ears bagged for 6-10 days. DMP : ears bagged for 3-5 days and followed by manual pollination. DNP : ears bagged for 3-5 days.

[2] Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

本試驗中之8個處理可分與4組，每組內均包含人爲輔助授粉（以M代表）及自然授粉（以N代表）二項處理，但就植株各部位之乾物而言，組內比較均未顯示顯著性差異，亦即吐絲期是否於自然授粉之外再輔以人爲授粉，對成熟期之產量與乾物重並無明顯的影響。

與穗長有關性狀之表現列於表2，對照（CKNP）處理之全穗長爲16.88cm，不充實穗長爲3.39 cm，其中不稔實部份爲2.51 cm，分別佔全穗長之20.1%與14.9%。表2資料同時顯示，就不充實部份之絕對長度而言，多數處理均可獲致減低的效果，例如族羣密度減半且輔以人爲授粉（TMP）之穗頂不充實長度爲2.73cm（佔全穗長之15.3%），套袋6—10日（BMP與BNP）處理爲2.13—2.38 cm（11.1—12.4%），套袋3－5日（DMP與DNP）處理爲2.29—2.60cm（12.8—14.8%）。不

稔實部份長度則僅在BMP與DMP處理獲得顯著之降低效果，分別為1.96cm與1.87cm，佔全穗長之11.1%與12.8%。各處理對總穗長之作用則僅見於套袋6—10日處理（BMP與BNP），較對照之增加幅度約為14%。充實穗長受總穗長與不充實穗長之影響，族羣密度減半且輔以人為授粉（TMP）

Table 2. Characters related to ear length of Tainung 351 maize as affected by various treatments

Treatment[1]	Length of Ear (cm)				A/D	B/D	C/D
	Unfilled (A)	Nonfertilized (B)	Filled (C)	Total (D)			
TMP	2.73bc (80.5%)	2.44a (97.2%)	15.17c (112.5%)	17.90ab (106.0%)	15.3%	13.6%	84.7%
TNP	3.11ab (91.7%)	2.58a (102.8%)	14.55cd (107.9%)	17.66b (104.6%)	17.6%	14.6%	82.4%
CKMP	3.00ab (88.5%)	2.21ab (88.0%)	13.46d (99.8%)	16.46b (97.5%)	18.2%	13.4%	81.8%
CKNP	3.39a (100.0%)	2.51a (100.0%)	13.49d (100.0%)	16.88b (100.0%)	20.1%	14.9%	79.9%
BMP	2.13d (62.8%)	1.96b (78.1%)	17.10a (126.8%)	19.23a (113.9%)	11.1%	10.2%	88.9%
BNP	2.38cd (70.2%)	2.30ab (91.6%)	16.80ab (124.5%)	19.18a (113.6%)	12.4%	12.0%	87.6%
DMP	2.29cd (67.7%)	1.87b (74.5%)	15.56bc (115.3%)	17.86ab (105.8%)	12.8%	10.5%	87.1%
DNP	2.60bcd (76.7%)	2.30ab (91.6%)	14.99c (111.1%)	17.58b (104.1%)	14.8%	13.1%	85.3%

[1] See Table 1 for description of treatment abbreviations.

Table 3. Peripheral length (cm) of ear and cob of Tainung 351 maize as influenced by various treatments

Treatment[1]	Ear Periphery			Cob Periphery		
	Tip	Middle	Basal	Tip	Middle	Basal
TMP	11.63ab (112.7%)	14.64ab (98.5%)	15.84ab (100.2%)	7.61bcd (103.3%)	9.23a (101.8%)	10.16a (100.7%)
TNP	10.28c (99.6%)	14.89a (100.1%)	15.98a (101.1%)	7.12a (96.6%)	9.08a (100.1%)	10.12a (100.3%)
CKMP	10.69bc (103.6%)	14.92a (100.3%)	15.62ab (98.8%)	7.40cd (100.4%)	9.07a (100.0%)	10.00a (99.1%)
CKNP	10.32c (100.0%)	14.87a (100.0%)	15.81ab (100.0%)	7.37cd (100.0%)	9.07a (100.0%)	10.09a (100.0%)
BMP	11.46abc (111.0%)	14.02bc (94.3%)	13.86c (87.7%)	7.99ab (108.4%)	9.05a (99.8%)	9.43c (93.5%)
BNP	12.09 a (117.2%)	13.93c (93.7%)	13.60c (86.0%)	8.19a (111.1%)	9.15a (100.9%)	9.57bc (94.8%)
DMP	11.45abc (110.9%)	14.75a (99.2%)	15.38b (97.3%)	7.89abc (107.1%)	9.18a (101.2%)	9.85ab (97.6%)
DNP	11.62ab (112.6%)	14.65ab (98.5%)	15.49ab (98.0%)	7.75abc (105.2%)	9.03a (99.6%)	9.77abc (96.8%)

[1] See Table 1 for description of treatment abbreviations.

Table 4. Kernel number (no./plant), kernel weight (g/plant) and 100-kernel-weight (g) of Tainung 351 maize as affected by various treatments

Treatment[1]	Kernel Number				Kernel Weight				100-kernel-weight			
	Tip	Middle	Basal	Total	Tip	Middle	Basal	Total	Tip	Middle	Basal	Total
TMP	139 a	259 a	225 a	623 a	26.43ab	66.49ab	64.12a	161.76a	19.04bc	25.65b	23.48b	23.98b
	(109.0%)	(109.7%)	(110.5%)	(109.8%)	(117.5%)	(100.8%)	(103.9%)	(109.5%)	(108.2%)	(92.1%)	(93.6%)	(99.7%)
TNP	103 c	241 ab	209 a	553 a	20.23bc	69.64a	67.46a	162.78a	19.57bc	28.92a	32.35a	29.39a
	(81.0%)	(102.1%)	(102.7%)	(97.6%)	(90.0%)	(105.5%)	(114.6%)	(110.1%)	(111.3%)	(103.8%)	(112.0%)	(112.8%)
CKMP	112 bc	221 bc	203 a	536 a	18.09c	62.77ab	59.59a	146.58a	16.02d	28.50ab	29.58ab	27.33b
	(88.2%)	(93.7%)	(99.5%)	(94.5%)	(80.4%)	(95.1%)	(101.2%)	(99.2%)	(91.1%)	(102.3%)	(102.4%)	(104.9%)
CKNP	127 ab	236 ab	204 a	567 a	22.49abc	65.99ab	58.88a	147.79a	17.59cd	27.85ab	28.89b	26.05b
	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)
BMP	119 abc	217 bc	150 b	486 b	25.53ab	56.99b	42.63b	125.13b	21.53b	26.32ab	28.52b	25.83b
	(93.1%)	(91.6%)	(73.4%)	(85.4%)	(113.5%)	(86.4%)	(72.4%)	(84.7%)	(122.4%)	(94.5%)	(97.6%)	(99.2%)
BNP	114 bc	192 c	119 c	425 b	23.83a	55.10b	36.54b	120.56b	25.18a	26.64ab	30.69ab	28.36a
	(89.6%)	(81.2%)	(58.6%)	(74.9%)	(128.2%)	(83.5%)	(62.2%)	(81.6%)	(143.1%)	(102.8%)	(106.2%)	(108.9%)
DMP				646 a (113.8%)				156.84a (106.1%)				24.32b (93.4%)
DNP				622 a (109.9%)				157.05a (106.3%)				25.25b (97.0%)

[1] See Table 1 for description of treatment abbreviations.

、套袋 6 —10日（BMP與BNP）及套袋 3 — 5 日(DMP與DNP)皆有延長效果，充實穗長介於14.99—17.10cm之間，較對照（CKNP）之13.49cm增長11.1—26.8%。

再將 8 項處理區分爲 4 組，顯示是否輔以人爲授粉並不影響有關穗長各項性狀之表現（表 2），組內間之差異皆未達顯著水準，亦即各處理如可增加充實與全穗長，或減少不充實穗長，並非人爲輔助授粉之效果。

表 3 爲玉米果穗上、中、下部位之穗周與軸周長度比較。穗周與軸周皆自果穗上端至下端逐漸增加，以對照（CKNP）處理爲例，上、中、下位之穗周分別爲10.32、14.87與15.81cm，軸周爲7.37、9.07與10.09cm（各佔穗周之71.4%、61.0%與63.8%）。降低族羣密度兩處理中，輔以人爲授粉（TMP）可增加上位穗周（增幅12.7%），自然授粉（TNP）處理則降低上位軸周（降幅 3.4%）；套袋 6 —10日處理（BMP與 BNP）可增加上位穗周（11.0—17.2%）與軸周（8.4—11.1%），但減少中、下位穗周（ 5.7—14.0%）與下位軸周（5.2—6.5%）；套袋 3 — 5 日之處理效果不明顯，僅DNP（自然授粉）可顯著增加上位穗周（12.6%）。

人爲輔助授粉與否對穗周與軸周之影響亦不明顯，4 組處理中僅於降低族羣密度處理內，人爲授粉（TMP）較自然授粉（TNP）有較大的上位穗周，其餘所有之差異均未達顯著水準。

子粒數目與重量爲決定單穗產量之要素，表 4 資料顯示對照（ CKNP）處理之一穗粒數爲567粒，上、中、下位之粒數各爲127、236與204粒，分別佔總數之 22.4、41.6與36.0%。降低族羣密度與自然授粉處理（TNP）可減少上位子粒數，套袋 6 —10日處理（BMP與BNP）則減少下位粒數與總粒數，其中BNP處理（自然授粉）並使中位粒數降低。其他各處理或各部位之差異則均不顯著。

在粒重方面，對照處理之一穗總重爲 147.79g，上、中、下位之粒重分別爲 22.49 、65.99與58.88g，亦即三個部位對產量之貢獻爲15.2、44.7與40.1%。各處理對一穗粒重之影響多不顯著，僅

Table 5. Correlation coefficients among some ear characters of Tainung 351 maize[1]

Characters[2]	V1	V3	V4	V5	V6	V7	V11	V12
V2	0.78							
V3	− 0.70							
V4		0.95						
V5	− 0.69	0.60						
V6	0.56	− 0.65	− 0.57					
V7	− 0.65	0.74	0.65	0.76	− 0.50			
V8	− 0.66	0.75	0.67	0.84	− 0.68	0.75		
V9	0.62				0.86	− 0.68	0.76	0.95
V10					0.83		0.86	0.80

1 Only significant Correlations ($P \leq 0.05$) were shown.
2 V1: length of unfilled part of ear.
V2: length of nonfertilized part of ear.
V3: length of filled part of ear.
V4: total length of ear.
V5: periphery of ear tip.
V6: periphery of ear base.
V7: periphery of cob tip.
V8: weight of tip kernels.
V9: weight of basal kernels.
V10: total weight of kernels.
V11: number of middle kernels.
V12: number of basal kernels.

套袋 6 —10日處理(BMP與BNP)可降低下位粒重(降幅27.6—37.8%)與總粒重(降幅15.3—18.4%)；BMP、BNP 與 TMP（降低族羣密度及人爲授粉）處理有使上位子粒重量增加的趨勢（13.5—28.2%），但統計分析則未達顯著水準。

百粒重之資料亦列於表 4，對照處理（CKNP）上、中、下位子粒之百粒重分別爲17.59、27.85與 28.89g，平均爲 26.05g，亦以上位子粒最輕，中、下位子粒較重。套袋 6 —10日處理（BMP與BNP）可大幅增加上位子粒之百粒重，增幅高達22.4—43.1%，其中 BNP處理（自然授粉）之全穗平均百粒重並因而提高8.9%；降低族羣密度與自然授粉處理（TNP）可使下位與全穗平均百粒重增加約12%，又使上位子粒百粒重有升高的趨勢，唯後者未達顯著水準。

對部份調查性狀間之相關分析資料列於表 5，就穗頂不充實部份之長度而言，與不稔實穗長呈極顯著之正相關（r＝0.78），與上位穗周及軸周呈極顯著負相關（r＝－0.69及－0.65），與上位粒重呈負相關（r＝－0.66）但與下位粒重則有正相關關係存在（r＝0.62）。

充實穗長與全穗長呈極顯著正相關（r＝0.95），其上位穗周與軸周亦愈粗大，且上位粒重與百粒重愈重；但充實穗長却因下位穗周與軸周之增大而縮短，有負相關關係存在在（表 5）。

全穗長與下位穗周呈顯著負相關而與上位穗周、軸周及粒重呈顯著正相關。中位與下位粒數之增加皆可使一穗子粒重量（產量）提高，有顯著之正相關關係存在（表 5）。

表 6 爲成熟期玉米上、下位子粒與穗軸內全氮與 TNC濃度。就上位子粒之全氮濃度而言，族羣密度減半及人爲授粉處理（TMP）最低（1.52%），但族羣密度減半及自然授粉（TNP）者最高，達1.70%，其餘各處理（含對照）間之差異不大，均爲1.60—1.63%。下位子粒全氮濃度則以對照處理（CKNP）最低（1.59%），TMP 及 TNP分別爲1.61與1.76%，套袋 6 —10日處理（BMP與BNP）較高，介於1.81—1.87%之間。

Table 6. Concentrations (%, dry weight basis) of N and total nonstructural carbohydrates (TNC) in kernels and cob of Tainung 351 maize as affected by various treatments

Treatment[1]	Kernel (N)		Cob (N)		Kernel (TNC)		Cob (TNC)	
	Tip	Basal	Tip	Basal	Tip	Basal	Tip	Basal
TMP	1.52	1.61	1.15	0.43	81.26	80.36	19.62	10.72
TNP	1.70	1.76	1.27	0.33	83.63	83.70	20.37	13.64
CKMP	1.63	1.65	1.21	0.32	78.00	79.12	16.33	8.78
CKNP	1.60	1.59	1.13	0.29	82.90	83.15	15.42	9.94
BMP	1.63	1.87	0.69	0.46	81.29	82.95	16.47	11.88
BNP	1.63	1.81	0.63	0.43	81.22	73.56	13.63	10.86

[1] See Table 1 for description of treatment abbreviations.

上位穗軸之全氮濃度除以 BMP與BNP處理較低（分別爲0.69與0.63%）外，其餘各處理相近，介於1.13—1.27%之間（表 6）。下位穗軸之濃度則顯著低於上位穗軸之濃度，均在 0.5%以下，對照（CKNP）僅爲0.29%，族羣密度減半處理（TMP與TNP）爲0.33—0.43%，套袋 6 —10日處理（BMP與BNP）爲0.43—0.46%，後者有較高的趨勢（表 6）。

在TNC濃度方面，除BMP與BNP一組處理外，均有自然授粉較人爲授粉爲高的表現；族羣密度減半時，自然受粉處理（TNP）上位子粒之 TNC濃度爲88.63%，下位子粒爲83.70%，而人爲授粉處理（TMP）則分別爲81.26%與80.36%；又對照組自然授粉處理（CKNP）上、下位子粒濃度爲

82.90%與83.15%，人爲授粉處理（CKNP）分別爲78.00%與79.12%（表6）。

處理間穗軸TNC濃度有明顯的差異，對照（CKNP）處理上位穗軸的濃度爲15.42%，族羣密度減半處理（ TMP與 TNP）則高達19.62—20.37%，BNP（套袋6—10日及自然授粉）最低，僅爲13.63%。下位穗軸 TNC濃度均較上位穗軸爲低，對照（CKNP）爲9.94%，TMP與TNP處理略高，分別爲10.72%與13.64%，BMP與BNP處理則爲11.88%及10.86%（表6）。

討　　論

試驗期間對臺農 351號玉米穗頂進行詳細觀察，發現穗頂不充實現象可分爲以下四個類型：

1.穗軸頂端發育不良而萎縮。

2.穗軸之發育正常，但頂端穎花未能受精。

3.穗軸頂端發育正常且穎花受精，但子粒不能充實。

4.以上三種類型之混合型。

推測玉米穗頂不充實之原因可概分爲遺傳與生理因素二大項，；遺傳因素屬品種特性，生理原因則涵蓋甚廣；本試驗各項處理包括降低族羣密度，以增加供源葉片之光合成能力，又套袋6—10天抑制部份中、下位子粒發育，以減少積儲容積，以及套袋3—5日延遲中、下位穎花之受精時間，以減少上位子粒與中、下位子粒在競爭養份能力方面的差異，此外，並配合人爲輔助授粉，檢討花粉供應問題，藉以探究可能影響臺農 351號玉米品種穗頂子粒不充實的生理原因。茲針對以上各處理，分項討論如下。

一、玉米子粒充實期間光合成物質之供需平衡關係：

許多學者認爲玉米產量，尤其是溫帶玉米產量，主要受供源能力的限制（source limiting）[15,17,25]，因而建議擴大行株距以增加族羣光線穿透效率[26]、改變族羣結構以提高族羣下位葉片之受光度[6,18,25]，及去除雄穗以避免遮蔭效果[7,13]，均可增强供源能力而提高產量。

本試驗於玉米吐絲期間拔行內植株，使密度減半爲每公頃29,400株（TMP與TNP處理），結果使穗頂不充實部份長度減爲2.73—3.11cm，爲對照（CKNP）處理（3.39cm）之80.5—91.7%，似有減輕穗頂不充實現象之效果（表2）；但由於一穗粒數與百粒重並未顯著增加，故對提高產量並無助益（表4），亦即在此一試例中，減輕臺農 351號玉米穗頂不充實程度並不能達到顯著增產的目的。

由表1之資料得知，TMP與 TNP處理成熟期之全株乾重均有增加，後者並達顯著水準，但與對照（CKNP）比較，所增加之乾物質多累積於莖稈、苞葉或穗軸，對產量並無影響，應爲乾物質轉流與分配效率的結果。此外，由吐絲至成熟期間，對照處理玉米植株營養器官之乾物重仍持續增加，顯示此一期間之光合成物質生產足供子粒充實之需，不必依靠預貯物質之再轉流供應。又對照處理上位穗軸TNC濃度雖較TMP與TNP處理略低，但仍高達 15.4%（表6），表示仍有多量碳水化合物未爲子粒利用。由以上結果可知限制臺農 351號產量之因子應爲積儲容積，而非供源能力；且降低族羣密度可減輕穗頂不充實程度之現象，亦可能爲次級效應（secondary effect）所產生的結果。

二、穗內子粒發育與充實之時序差異：

Bonnett[3] 指出玉米雌穗上穎花之分化是由基部至頂端之方向（acropetal)依序完成；Frey[10] 認爲頂端穎花之發育最遲而最後受精，子粒開始充實的時間亦較晚；Nishikawa and Kudo[16] 更指出穗部頂端部份穎花是無法發育的，部份穎花雖可受精，但子粒充實在早期即已停止。上述原因均可能影響穗頂充實問題，故應針對臺農 351號之特性加以檢討。

本試驗於吐絲始期將雌穗套袋3—5日，目的在延緩下位穎花之受精時間，縮小與上位穎花受精時間之時序差異，但又不影響其子粒充實，結果處理效果甚爲理想。DMP與DNP兩處理可將穗頂不充實部份長度減少至2.29—2.60cm，僅爲對照（CKNP）植株 之67.7—76.7%，佔全穗長之12.8—

14.8%，亦低於對照處理（20.1%），效果極爲明顯（表2）；又上位穗周長度增加10.9—12.6%，而軸周則與對照相近（表3），顯示上位子粒之發育可能較爲良好；在一穗總粒數方面，增幅爲 9.6—13.8%，產量提高6%左右（表4），唯均未達顯著水準。本試驗缺少果穗上、中、下部位子粒數、粒重及百粒重資料，但由以上結果及 Bagnara and Daynard[2] 報告延遲授粉可使頂端三分之一部位粒重顯著增加之結論推測，頂端子粒可能亦有較高之粒重與百粒重。

根據延遲授粉處理（即DMP與DNP）試驗結果，得知中、下位子粒之發育與充實可影響上位子粒，甚至穗軸之分化與發育，與穗頂不充實現象有關，但與最終產量間之關係則仍不明確。此外，並根據上述結論提出假設，認爲如能自同一時間開始發育與充實，則可減少上位子粒與下位子粒對供源利用能力之先天差異，有助於提高上位子粒之充實程度。有關穗內不同部位子粒之養份需求競爭作用，及與花絲抽出時間及花粉供應間之關係，將於以下敍述討論。

三、玉米穗內不同部位之養份需求競爭作用：

穗內不同部位穎花由於分化時序等之差異，可導致上位子粒具有較弱之積儲强度（sink strength)[19,21]，因此其直線充實期發生較晚，爲時亦短[22]，子粒重量亦較輕[10]。許多報告並指出玉米穗頂子粒胚乳細胞數目因而較少[11,24]，體積較小[14,22]，其內之澱粉粒亦較小[14]，且胚乳細胞內利用蔗糖之酵素活性較低[11]，均爲可能導致穗頂子粒充實不良之基本原因。

Tollenaar and Daynard[22] 發現吐絲後 10日去除部份下位子粒可以促使所有頂端子粒充實，本試驗因而擬定將雌穗套袋6—10日之處理（BMP與 BNP），減少中、下位子粒數目，降低其積儲容積與强度，探討對臺農 351號玉米穗頂充實問題的影響。

BMP與 BNP 處理可增加全穗長（13—14%）及充實穗長（24.5—26.8%），減少不充實穗長(29.8—37.2%)（表2），增大上位穗周（11—17%）及軸周（8—11%）（表3），減少中、下位子粒數目（8—41%）（表4），顯示處理效果甚爲明顯，尤以提高上位子粒之百粒重達22—43%及粒重達13—28%（表4），較 Tollenaar and Daynard[22] 之結果更爲顯著。但兩項處理並未能增加上位子粒之數目，且就實際應用價值而言，由於總粒數大幅減少，產量亦因而降低（表4）。

上述結果顯示，臺農 351號玉米品種上位子粒利用養份之能力，因受到中、下位子粒之强烈競爭而有不足，此固爲穎花分化時序差異之直接結果，但也可能受到中、下位子粒完全充實後釋放老化訊息，進而阻礙養份轉流之影響，均足以造成上位子粒發育不良及穗頂不充實等現象。

四、花粉供應及抽穗與吐絲時間差異之作用：

抽穗與吐絲時間差距較大，以致花粉供應不足，常被認爲是臺農 351號玉米穗頂不充實的重要原因之一，但尚無試驗資料可供證明。依據Buren *et al.*[4]、Dow *et al*[6] 及Muleba *et al.*[15] 等之報告，抽穗與吐絲時間差距之長短與產量有密切關係；如縮小此一差距，可減少不結實粒數，使上位粒重顯著升高[2]。有關臺農351號之試驗結果， Wang *et al.*[23] 發現抽穗與吐絲期之間隔最多可達9日，全省玉米栽培試驗綜合報告（未發表）爲3—8日。本試驗則發現雄穗抽出後2日開花，再隔4日（變域爲1—8日）吐絲，但吐絲期較長，最多可達14日，因此穗頂花絲抽出時，花粉供應不足之情況亦屬可能。 Buren *et al.*[4] 即曾指出，花絲迅速抽出可與花粉散落時間配合而提高產量，此一特性亦因品種不同而呈現差異。

此外，臺農 351號玉米品種之粒數多，繁密之花絲可能因相互遮蔽效應而影響授粉。田間觀察發現臺農351號玉米花絲之露出長度可達 10cm 以上，一般亦在 6cm左右，是否影響花粉之有效性，亦爲值得考慮的問題。

本試驗在所有處理中均增設配合人爲輔助授粉處理（TMP、CKMP、BMP及DMP），而與對照（CKNP）比較，亦多能達到縮短不充實穗長之顯著效果（表2）；但在任一處理內比較人爲授粉與否之結果，却又未能發現顯著性差異，亦即各處理如可減少不充實穗長，似非源由於人爲授粉之作用；唯表2資料顯示，所謂「不充實」穗長主要係由不稔實（未受精）部份構成，兩者之間具有極顯

著之正相關（表 5），子粒充實不良的影響反而較小，因此似又不能否定花粉供應不足或授粉機制受到阻礙的重要性，其確實原因尚待檢討。

El-Lakany and Russell[9] 報告增大玉米族羣密度可能延長開花至吐絲期之間隔；Anderson *et al.*[1] 指出提高N肥用量可以縮短吐絲期，使子粒提早受精與充實而增產。可否以栽培方法調節臺農351號玉米開花與吐絲期，以減低穗頂不充實程度，尚待進一步研究。

五、遺傳因素——品種特性：

Daynard and Duncan[5]、Egharevda *et al.*[8] 及Hanway[12] 等均曾報告玉米穗頂子粒發育不良，顯見穗頂不充實並非臺農 351號玉米品種獨有之特性，值得注意者應係程度上之差異及對產量之影響。

依據本所玉米研究室的報告（未發表），臺農351號穗頂不充實現象是由父本TA80—1410遺傳而來。本試驗所採用之材料包括臺農育121品系（試驗結果將以另文發表），與臺農351號具有相同母本及不同父本；臺農育121號穗頂不充實程度極爲輕微，長度僅0.82cm，佔全穗長（18.4cm）之4.5%，幼穗頂端穎花之發育優於臺農351號，產量亦較高。臺農351號不充實穗長(CKNP處理）爲3.39cm，佔全穗長之20.1%，各種處理雖可減輕其程度，但不充實現象仍然存在，長度爲 2.13—3.00cm，爲總穗長之11.1—18.2%，且對產量沒有顯著影響，因此穗頂不充實可能爲臺農 351號玉米一項品種特性。綜合本試驗結果，臺農 351號玉米穗頂不充實現象依其表現可分爲四種類型，在推論屬於品種特性之基礎上討論其發生原因，應與花粉供應、授粉機制、穗內穎花發育與子粒充實之時序差異，以及子粒間競爭養份能力有關；光合成物質之生產與供應並無不足，但養份向穗頂子粒之運送可能受到阻礙，使子粒不能完全充實。就臺農 351號品種而言，穗頂充實與否與產量間之關係並不明確，對照（CKNP）處理之子粒產量高達 8.7t/ha，不充實穗長仍佔全穗長之20%，其他處理雖可減輕穗頂不充實長度與比率，但對產量並無影響。臺農 351號爲一具有高產潛力之品種，粒數對產量之重要性大於粒重（表 5），因此在現階段應由適當的栽培方法達到高產的目的，而不必過於强調穗頂不充實現象對此優良品種產量的影響；在今後繼續改良玉米品種的過程中，應可經由選擇適當親本與選拔技術而克服此一外觀上的缺失。

引用文獻

1. Anderson, E. L., E. J. Kamprath, R. H. Moll and W. A. Jackson. 1984. Effect of N fertillization on silk synchrony, ear number , and growth of semiprolific maize genotypes. Crop Sci. 24 :663-666.
2. Bagnara, D. and T. B. Daynard. 1982. Rate and duration of kernel growth in the determination of maize (*Z. mays* L.) kernel size. Can. J. Plant Sci. 62: 579-587.
3. Bonnett, O. T. 1960. Inflorescences of maize, wheat, rye, barley and oats: their initiation and development. Ill. Agri. Sta. Bull. 721.
4. Buren, L. L., J. J. Mock and I. C. Anderson. 1974. Morphological and physiological traits in maize associated with tolerance to high plant density. Crop Sci. 14: 426-429.
5. Daynard, T. B. and W. G. Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. Crop Sci. 9 : 473-476.
6. Dow, E. W., T. B. Daynard, J. F. Muldoon, D. J. Baker and G. W. Thurtell. 1984. Resistance to drought and density stress in Canadian and European maize (*Zea mays* L.) hybrids. Can. J. Plant Sci. 64: 575-585.
7. Duncan, W. G., W. A. Williams and R. S. Loomis. 1967. Tassels and the productivity of maize. Crop Sci. 7: 37-39.
8. Egharevba, P. N., R. D. Horrocks and M. S. Zuber. 1976. Dry matter accumulation in maize in

response to defoliation. Agron. J. 68: 40-43.

9. El-Lakany, M. A. and W. A. Russell. 1971. Relationship of maize characters with yield in testcrosses of inbreds at different plant densities. Crop Sci. 11: 698-701.

10. Frey, N. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. Crop Sci. 21: 118-122.

11. Gengenbach, B. G. 1977. Genotypic influences on in vitro fertilization and kernel development of maize. Crop Sci. 17: 489-492.

12. Hanway, J. J. 1969. Defoliation effects on different corn (*Zea mays* L.) hybrids as influenced by plant population and stage of development. Agron. J. 61: 534-538.

13. Hunter, R. B., T. B. Daynard, D. J. Hume, J. W. Tanner, J. D. Curtis and L. W. Kannenberg. 1969. Effect of tassel removal on grain yield of corn (*Zea mays* L.). Crop Sci. 9: 405-406.

14. Jones, R. J., S. Ouattar and R. K. Crookston. 1984. Thermal environment during endosperm cell division and grain filling in maize: Effect on kernel growth and development in vitro. Crop Sci. 24:133-137.

15. Muleba, N., T. G. Hart and G. W. Paulsen. 1983. Physiological factors affecting maize (*Zea mays* L.) yields under tropical and temperate conditions. Trop. Agric. 60: 3-10.

16. Nishikawa, H. and M. Kudo. 1973. Explicational studies on the sterile ear as appeared on mechanized cultivation of the corn plant (*Zea mays* L.). Tohoku Agri. Exp. Sta. Res. Rep. 44: 51-95.

17. Nunez, R. and E. Kamprath. 1969. Relationships between N response, plant population and row width on growth and yield of corn. Agron. J. 61: 279-282.

18. Pendleton, J. W., D. B. Egli and D. B. Peters. 1967. Response of *Zea mays*) to a "ligth rich" field environment. Agrn. J. 59: 395-397.

19. Poneleit, C. G. and D. B. Egli. 1979. Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype. CropSci. 19: 385-388.

20. Smith, D. 1969. Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue. Wis. Agri. Exp. Sta. Res. Rep. 41, 11pp.

21. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short-season environment. Agron. J. 70: 219-223.

22. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978. Kernel growth and development at two positions on the ear of maize (*Zea mays* L.). Can. J. Plant Sci. 58: 189-197.

23. Wang, C. S., S. H. Tsao and D. J. Liu. 1985. Effects of N fertilization on the growth and yield of two maize hybrids. J. Agri. Res. China 34 (in press).

24. Wardlaw, I. F. 1970. The early stages of grain development in wheat: response to light and temperature in a single variety. Aust. J. Biol. Sci. 23: 765-774.

25. Williams, W. A., R. S. Loomis, W. G. Duncan, A. Dovrat and F. A. Nunez. 1963. Canopy architec ture at various population densities and the growth and grain yield of corn. Crop Sci. 8: 303-308.

26. Yao, A. Y. M. and R. H. Shaw. 1963. Effect of plant population and planting pattern of corn on water use and yield. Agron. J. 56: 147-152.

Studies on the Causes of Ear-tip Unfilling of Tainung 351 Maize[1]

C. S. Wang, S. H. Tsao and D. J. Liu[2]

Summary

One weakness of the high-yielding, single-cross maize hybrid Tainung 351 is the poor development of the ear tip. Four different types have been observed: (1) deterioration of the ear (cob) tip, (2) non-pollination of tip spikelets, (3) unfilling of tip kernels and (4) mixed type. Average length of the unfilled portion was 20% of total ear length. However, grain yield as high as 8.7t/ha was recorded. Treatments of this experiment included thinning the stand to half the original density, bagging the ear for 3—5 or 6—10 days to delay pollination or restrict the development of basal kernels, respectively. Characteristics of kernels on different parts of the ear (tip, middle and basal) at harvest were measured and concentrations of total nonstructural carbohydrates (TNC) and N were also analyzed. Measures for improving the filling of tip kernels were discussed.

Factors resulted in the ear-tip unfilling can be deduced from the experimental results as follows: (1) differentiation and development of tip spikelets were later than those of the middle or lower ones, and hence the tip kernels possessed smaller sink strength, (2) the interval between anthesis and silking and the extended period of silking rendered the tip spikelets unpollinated due to lack of pollen source. The long silks might also produce shading effect in preventing the tip spikelets from receiving pollens, and (3) competition of nutrients or even inhibition from the basal and middle kernels on the tip kernels. The latter hypothesis was supported by the fact that 100-kernel-weight of the tip kernels could be increased significantly by restricting the development of basal kernels through bagging the ear for 6—10 days at silking stage. Based on the results of changing dry weight and TNC concentrations in different plant parts during kernel filling, it was concluded that sink strength of the ear-tip, rather than the source capacity, was the reason for the unfilling. In fact, it was found that limiting factor for the yield of Tainung 351 maize was in the sink end. The supply of photosynthates exceeded those needed by the developing kernels.

All the treatments in this experiment showed effect in reducing the degree of ear-

---

[1] Contribution No. **1230** from Taiwan Agricultural Research Institute. This study was supported in part by a grant from Council of Agriculture, Executive Yuan.

[2] Respectively, assistant agronomist, research assistant and senior agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.

tip unfilling. However, the unfilling portion still occupied 11—18% of the ear length. It is possible that this character might be genetically inherent. Furthermore, the relationship between ear-tip unfilling and grain yield of this specific hybrid is not clear. As many factors are considered important in causing the poor development of the ear tip, it might be more practical to improve the cultural methods to increase the yield of the high-yielding Tainung 351 maize before varieties with well-developed ear tip have been released.